

PAT-NO: JP409061662A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09061662 A

TITLE: OPTICAL COUPLER

PUBN-DATE: March 7, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

NISHIMURA, HIDEKAZU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

OKI ELECTRIC IND CO LTD

N/A

APPL-NO: JP07217913

APPL-DATE: August 25, 1995

INT-CL (IPC): G02B006/293, G02B006/26 , G02B006/42

ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the coupling efficiency of an optical coupler for multiplexing signal light and exciting light and to enhance its amplification rate in order to amplify the signal light and exciting light by an erbium-doped fiber.

**SOLUTION:** A signal light side lens 14 is arranged apart a prescribed spacing in front of an optical waveguide 13 for the signal light to propagate the signal light with a single mode to constitute a signal light side collimator 15. An output side lens 17 is arranged apart a prescribed spacing in front of an optical waveguide 18 for output for propagating the signal light and the exciting light with the single mode to constitute an output side collimator 19. The signal light side collimator 15 and the output side collimator 19 are coupled at a prescribed distance via an optical multiplexing element 16. The exciting light side collimator 22 and the output side collimator 19 are coupled at the prescribed distance via this optical multiplexing element 16. The signal light and the exciting light are multiplexed and outputted by spacing coupling of the exciting light without using the optical waveguide or using the optimized lens, etc.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the optical coupling machine of the multiplexing part in an optical fiber amplifying device.

[0002]

[Description of the Prior Art] Drawing 16 shows the configuration of the conventional erbium dope fiber (it is hereafter written as EDF.) light amplifier. Signal light with a wavelength of 1.55 micrometers comes from the signal input fiber 1, the multiplexing machine 2 is penetrated, and it goes into the fiber 3 for the EDF connection. From the LD module 4 for excitation, high power light with a wavelength of 0.98 micrometers passes along the fiber 5 for 0.98 micrometer, reflects with a multiplexing filter, and goes into the fiber 3 for the EDF connection.

[0003] In EDF6, an erbium atom is excited by 0.98-micrometer optical power, induced emission happens, and the signal light which is 1.55 micrometers is amplified and outputted by 1.55-micrometer input signal light. Output light spreads with the signal output fiber 7. Moreover, the above-mentioned fiber is being connected by the connector connection 8 and the welding connection 9.

[0004] Drawing 17 is the explanatory view of the conventional multiplexing part, and is for explaining in detail the field (multiplexing part) shown as A of drawing 16. Space association of the signal input fiber 1 and the fiber 3 for the EDF connection is carried out with a collimator 10 and a collimator 11, and space connection of the fiber 5 for 0.98 micrometer for excitation optical transmissions and the fiber 3 for the EDF connection is made with the collimator 12 and the collimator 11.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, with the above-mentioned configuration, since optical joint effectiveness was not good, signal light and excitation light declined and there was a problem that the part amplification degree would be stopped.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In the optical coupling machine which has the optical multiplexing component this invention inputs [ component ] the signal light of predetermined wavelength, and the excitation light of predetermined wavelength, and it multiplexes [ component ], and outputs the signal light and excitation light it multiplexed [ light ] by the optical waveguide for an output Set predetermined spacing ahead [ of the optical waveguide for signal light which makes signal light spread by the single mode ], arrange a signal light side lens, and it considers as a signal light side collimator. Set predetermined spacing ahead [ of the optical waveguide for an output which makes signal light and excitation light spread by the single mode ], arrange an output side lens, and it considers as an output side collimator. An aforementioned signal light side collimator and an aforementioned output side collimator are combined in a predetermined distance through an optical multiplexing component. It is characterized by multiplexing and outputting signal light and excitation light combining an excitation light side collimator and an output side collimator in a predetermined distance through the optical multiplexing component, and carrying out space association of the excitation light, by using the lens which optimized for this configuration, etc.

[0007]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of this invention is explained using drawing below.

The gestalt of gestalt book implementation of the 1st operation removes the fiber for connection from LD for excitation to a

multiplexing machine, considers LD for excitation, and the output side fiber for the EDF connection as space association, and is characterized by using the lens designed so that it might moreover become high joint effectiveness.

[0008] Drawing 1 is the block diagram showing the gestalt of the 1st operation. 13 shows the fiber which is the optical waveguide for signal light, has become a single mode fiber (SMF) to 1.55-micrometer signal light, it arranges the signal light side lens 14 ahead [ this ], considers as the signal light side collimator 15, and is combined with the output side collimator 19 which changes with the output side lens 17 and a fiber 18 through the optical multiplexing components 16, such as a multiplexing/demultiplexing (WDM) filter. The fiber 18 which is the output side optical waveguide is for connecting with EDF which does not illustrate, and serves as a single mode to light (1.55 micrometers and 0.98 micrometers).

[0009] Fiber 13 comrade's lens for association is used for a lens 14 (the existing thing may be used.). A lens 17 uses what was designed so that a fiber 13 and a fiber 18 might join together best. 20 is LD for excitation which is the light source, and it arranges the excitation light side lens 21 ahead [ this ], and considers as the excitation light side collimator 22, and it is made to combine with a collimator 19.

[0010] A lens 21 uses what was designed so that it might combine with a collimator 19 best. Drawing 2 is the explanatory view of behavior of a signal light side collimator part and a beam, and shows the behavior of collimator 15 part and a beam which consists of a fiber 13 and a lens 14. A V value [ as opposed to core radius  $a_1 = 3.86$  micrometer and the wavelength of 1.55 micrometers in a fiber 13 ]: It is  $V = 1.62$  and mode radius  $w_1 = 6.15$  micrometer, and the angle of divergence of outgoing radiation light is  $\theta_{e1} = 4.59$  degree (1/e<sup>2</sup> value half width).

[0011] As an example, the lens 14 used here is a refractive index  $n = 1.86926$  to the wavelength of 1.55 micrometers. The field by the side of vertical flat-surface and outgoing radiation light of the field by the side of the fiber 13 of this lens 14 is the radius-of-curvature  $r_{12} = 2200$  micrometer spherical surface, and thickness is 1360 micrometers. Drawing 3 is the explanatory view of association with the Gaussian beam of an output side collimator part, and shows the situation of a Gaussian beam with a wavelength of 1.55 micrometers which carries out incidence to collimator 19 part which consists of a fiber 18 and a lens 17. Fibers 18 are V value:  $V_2 = 1.30$  to core radius  $a_2 = 2.10$  micrometer and the wavelength of 1.55 micrometers, and mode radius  $w_2 = 4.90$  micrometer, and the angle of divergence of outgoing radiation light is  $\theta_{e2} = 5.75$  degree (1 / e binary half width).

[0012] As an example, the lens 17 used here is a refractive index  $n = 1.86926$  to the wavelength of 1.55 micrometers. The field by the side of a vertical flat surface and space set the field by the side of the fiber 18 of this lens 17 to the radius-of-curvature  $r_{21} = 1750$  micrometer spherical surface and thickness  $t_2 = 1080$  micrometer. If incidence of the Gaussian beam which has the waist with a half width of 191 micrometers in the location of 25000 micrometers from the field by the side of the space of a lens 17 is carried out, it is coupled optimally by distance  $d_2 = 1443$  micrometer of the field by the side of the fiber 18 of a lens 17, and the end face of a fiber 18.

[0013] Drawing 4 is the explanatory view of behavior of an output side collimator part and the beam for excitation, and shows behavior of the beam at the time of inputting light with a wavelength of 0.98 micrometers into a fiber 18 from the right-hand side of drawing temporarily in the collimator 19. It becomes V value:  $V_2' = 2.06$  of a fiber 18, mode radius  $w_2' = 2.60$  micrometer, and outgoing radiation angle (1/e<sup>2</sup> value half width)  $\theta_{e2}' = 6.84$  degree to light with a wavelength of 0.98 micrometers.

[0014] Moreover, the refractive index of a lens 17 is set to  $n' = 1.88445$ . At this time, the beam which has the waist with a width of face of 112.5 micrometers (1/e<sup>2</sup> value half width) in the location of 76000 micrometers arises from the field by the side of the space of a lens 17. Beam width with a location of 40000 micrometers is set to 150 micrometers (1/e<sup>2</sup> value half width). Drawing 5 is the explanatory view of association of an excitation light side collimator and an output side collimator, and it shows the condition of having arranged LD20 for excitation, the lens 21, the lens 17, and the fiber 18 in the shape of a straight line so that spacing of a lens 17 and a lens 21 may be set to 40000 micrometers. The lens 21 used here is a refractive index  $n = 1.88445$  to the wavelength of 0.98 micrometers. It may be angle-of-divergence (1/e<sup>2</sup> value half width)  $\theta_{e3} = 25$  degree of the outgoing radiation light of LD20. Thickness of a lens 21 was set to 284 micrometers.

[0015] As a field configuration of a lens 21, two examples, #1 and #2, are shown below. Drawing 6 is the explanatory view (#1) showing an excitation light side lens configuration and numeric data, and the lens 21 (#1) in this case is the curved surface which made the spherical surface the field by the side of LD20, and optimized the field by the side of space to the term the 6th power. Drawing 7 is the explanatory view (#2) showing the lens configuration and numeric data of LD for excitation, and the lens 21 (#2) in this case is the curved surface which optimized the LD20 and space side in the range of a secondary curve.

[0016] In drawing 6 and drawing 7, in curvature (mm<sup>-1</sup>) and K, an aspheric surface multiplier and A show a term the 4th power, and B shows [ C ] the term the 6th power. Joint effectiveness serves as max at the time of distance d3 = 196.5 micrometer by the side of the end face of LD20, and LD20 of a lens 21. In addition, the general formula of a lens side is as being shown in the following several 1.

[0017]

[Equation 1]

$$z = \frac{C_{ij} h^2}{1 + \sqrt{1 - (K_{ij} + 1) C_{ij}^2 h^2}} + A h^4 + B h^6 + \dots$$

$h = \text{root}(x^2 + y^2)$

Association with the Gaussian beam which has the waist with a half width of 112.5 micrometers in the location of -36000 micrometers from the field by the side of the space of a lens 21 becomes 90% when there is no echo in a lens side.

[0018] According to the gestalt of this operation, a fiber 13 and a fiber 18 As mentioned above, the lens 14, When it was made for LD20 for excitation and a fiber 18 to be coupled optimally on the wavelength of 0.98 micrometers with the lens 21 and lens 17 which were especially coupled optimally on the wavelength of 1.55 micrometers with the lens 17 designed especially, and were designed There is also little loss of 1.55-micrometer signal light, and there is also little loss of 0.98-micrometer excitation light, and the optical coupling machine which can be inputted into EDF can be realized.

[0019] By having carried out space association, without using a connection fiber for from LD20 for excitation before the optical multiplexing component 16 especially, while loss of excitation light decreases, an optical coupling machine can be miniaturized.

Especially the gestalt of gestalt book implementation of the 2nd operation is characterized by carrying out efficient association of signal light and the excitation light using the designed lens system.

[0020] Drawing 8 is the block diagram showing the gestalt of this operation. In drawing, it is the fiber which is the optical waveguide for signal light, and 23 is a single mode fiber (SMF) about light with a wavelength of 1.55 micrometers, it arranges the signal light side lens 24 ahead of this fiber 23, and is taken as the signal light side collimator 25. The fiber 26 which is the optical waveguide for an output is for connecting with EDF which does not illustrate, and serves as SMF about light (1.55 micrometers and 0.98 micrometers). The output side collimator 28 consists of this fiber 26 and an output side lens 27. The excitation light side fiber 29 is for inputting excitation light, and constitutes the excitation light side collimator 31 from an excitation light side lens 30.

[0021] 32 is optical multiplexing components, such as an interference filter, it combines a collimator 25 and a collimator 28 on the wavelength of 1.55 micrometers, and combines a collimator 31 and a collimator 28 on the wavelength of 0.98 micrometers, and the light of the wavelength of 1.55 micrometers and 0.98-micrometer both spreads it on a fiber 26. Here, as an example, a lens side configuration and especially the distance between fiber lenses are designed, and it is indicated that the lens end-to-end dimension of 27.5mm, a collimator 31, and a collimator 28 is coupled optimally by the lens end-to-end dimension of a collimator 25 and a collimator 28 by 27.5mm.

[0022] Drawing 9 is the mode radius w of the fibers 23, 26, and 29 which are the explanatory views of the property of a fiber and are used for (a) of this drawing 9, and outgoing radiation angle thetae. It was shown. The definition of a fiber property is shown in (b) of drawing 9. In drawing 10, structural drawing of a signal light side lens and drawing 11 show structural drawing of an output side lens, and drawing 12 shows structural drawing of an excitation light side lens, respectively.

[0023] The configuration and shape parameter of a lens are shown in these drawing 10, drawing 11, and drawing 12. In addition, the notation in these drawings is used in the sense of a degree.

Cij: Main curvature (a negative value expresses a convex to the right of drawing.)

i: lens number

j: field number (the left-hand side of drawing is 1 and right-hand side is 2)

Kij: The general formula of the configuration of an aspheric surface multiplier lens side is as being shown in the following several 2.

[0024]

[Equation 2]

$$z = \frac{C_{11} h^2}{1 + \sqrt{1 - (K_{11} + 1) C_{11}^2 h^2}}$$

$h = \sqrt{x^2 + y^2}$

x In addition, y: It is the vertical coordinate z to the optical axis of a lens side. : It considered as the coordinate of the direction of an optical axis of a lens side.

[0025] Next, the method of producing an optical coupling machine is explained. It is the explanatory view of signal light side collimator production, and as shown in this drawing, first, the same collimating system to which both sides change from a fiber 23 and a lens 24 is made to counter, and as for drawing 13, both collimators adjust spacing of a fiber 23 and a lens 24 so that it may become optimum coupling on the wavelength of 1.55 micrometers as a distance between lenses of 32mm.

[0026] By the thickness (1.36mm) of the lens 24 used here, on count, when spacing of a fiber 23 and a lens 24 is 1819 micrometers, it becomes optimum coupling. Thus, let the made collimator be a collimator 25. It is the explanatory view of output side collimator production, and as shown in this drawing, the same collimating system to which both sides change from a fiber 26 and a lens 27 is made to counter, and it considers as the distance between lenses of 23mm, and as for drawing 14, both collimators adjust spacing of a fiber 26 and a lens 27 so that it may become optimum coupling on the wavelength of 1.55 micrometers.

[0027] By the thickness (1.08mm) of the lens 27 used here, on count, when spacing of a fiber 26 and a lens 27 is 1443 micrometers, it becomes optimum coupling. Thus, let the made collimator be a collimator 28. Drawing 15 is the explanatory view of excitation light side collimator production, and as shown in this drawing, it makes the collimator 28 which consists of the fiber 26 and lens 27 which were completed like \*\*\*\*, and the collimator which consists of a fiber 29 and a lens 30 counter in the distance between lenses of 27.5mm, and it adjusts spacing of a lens 30 and a fiber 29 so that association may become max on the wavelength of 0.98 micrometers.

[0028] By the thickness (1.08mm) of the lens 30 used here, on count, when spacing of a fiber 29 and a lens 30 is 928 micrometers, association becomes max. Thus, let the collimator of the made fiber 29 and a lens 30 be a collimator 31. The collimator 25 which carried out like drawing 13 and was made into the last, and the collimator 28 which carried out like drawing 14 and was made are made to counter in the distance between lenses of 27.5mm through the optical multiplexing components 32, such as an interference filter, like drawing 8, and joint adjustment is carried out on the wavelength of 1.55 micrometers, and it fixes.

[0029] And it carries out like drawing 15, and to a collimator 28, it is made to counter in the distance between lenses of 27.5mm through the optical multiplexing component 32 like drawing 8, joint adjustment is carried out on the wavelength of 0.98 micrometers, the made collimator 31 is fixed, and an optical coupling machine is constituted. According to the gestalt of this operation, as mentioned above with the lens 24 and lens 27 which were designed especially It is best combined in the distance to which the fiber 23 and the fiber 26 were given, and, moreover, with the lens 30 designed especially By making it best combined in the distance to which the fiber 29 and the fiber 26 were given, and arranging optical multiplexing components, such as an interference filter, to joint space The optical coupling machine of the high performance which makes both signal light with a wavelength of 1.55 micrometers and excitation light with a wavelength of 0.98 micrometers combine with a fiber 26 by low loss is realizable.

[0030]

[Effect of the Invention] As explained to the detail above, by having raised the joint effectiveness of the optical coupling machine which multiplexes signal light and excitation light, signal light and excitation light will carry out incidence to an erbium dope optical fiber by low loss, and have the effectiveness of raising the amplification factor of signal light.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-61662

(43) 公開日 平成9年(1997)3月7日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/293

G 0 2 B 6/28

C

6/26

6/26

6/42

6/42

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-217913

(22) 出願日 平成7年(1995)8月25日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 西村 英一

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

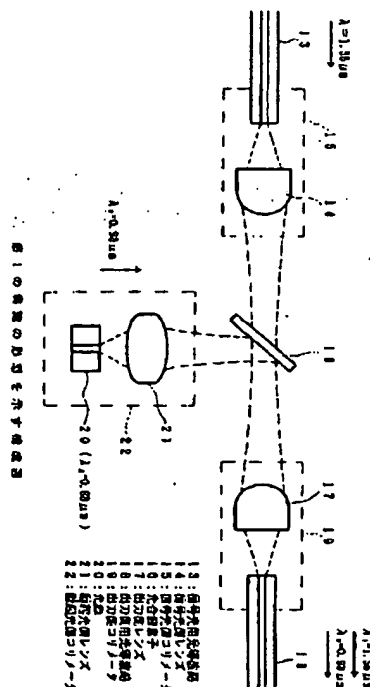
(74) 代理人 弁理士 金倉 喬二

(54) 【発明の名称】 光結合器

(57) 【要約】

【課題】 エルビウムドープファイバにより増幅するために、信号光と励起光を合波する光結合器において、結合効率を向上させて増幅率を上げること。

【解決手段】 信号光を単一モードで伝搬させる信号光用光導波路13の前方に所定の間隔をおいて信号光側レンズ14を配置して信号光側コリメータ15とし、信号光および励起光を単一モードで伝搬させる出力用光導波路18の前方に所定の間隔をおいて出力側レンズ17を配置して出力側コリメータ19とし、光合波素子16を介して前記の信号光側コリメータ15と出力側コリメータ19を所定の距離で結合し、その光合波素子16を介して励起光側コリメータ22と出力側コリメータ19を所定の距離で結合し、励起光を光導波路を用いずに空間結合することや、最適化したレンズを用いること等により、信号光と励起光を合波して出力することを特徴としている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の波長の信号光および所定の波長の励起光を入力して合波する光合波素子を有し、その合波した信号光および励起光を出力用光導波路により出力する光結合器において、

信号光を単一モードで伝搬させる信号光用光導波路の前方に所定の間隔をおいて信号光側レンズを配置して信号光側コリメータとし、

信号光および励起光を単一モードで伝搬させる出力用光導波路の前方に所定の間隔をおいて出力側レンズを配置して出力側コリメータと成し、

光合波素子を介して前記の信号光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、

光源から発生する励起光を光導波路を介さずに直接空間結合するための励起光側レンズを、その光源の前方に所定の間隔をおいて配置して励起光側コリメータとし、

前記光合波素子を介して励起光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、

信号光と励起光を合波して出力することを特徴とする光結合器。

【請求項2】 所定の波長の信号光を単一モードで伝搬させる信号光用光導波路と、所定の波長の励起光を単一モードで伝搬させる励起光用光導波路と、前記の信号光および励起光を単一モードで伝搬させる出力用光導波路と、信号光と励起光とを合波する光合波素子とから成り、前記の信号光用光導波路から入力した信号光と励起光用光導波路から入力した励起光を、光合波素子により合波して出力用光導波路により出力する光結合器において、信号光用光導波路の前方に、信号光結合のために最適化された信号光側レンズを配置して信号光側コリメータとし、該信号光側コリメータ同士を所定の距離にて対向させて信号光を伝搬させた場合に最適結合するように前記の信号光用光導波路と信号光側レンズとの間隔を調整し、

出力用光導波路の前方に、信号光および励起光結合のために最適化された出力側レンズを配置して出力側コリメータとし、該出力側コリメータ同士を所定の距離にて対向させて信号光を伝搬させた場合に最適結合するように前記の出力用光導波路と出力側レンズとの間隔を調整し、

励起光用光導波路の前方に、励起光結合のために最適化された励起光側レンズを配置して励起光側コリメータとし、該励起光側コリメータと前記出力側コリメータを所定の距離にて対向させて励起光を伝搬させた場合に最適結合するように前記の励起光用光導波路と励起光側レンズとの間隔を調整し、

光合波素子を介して信号光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、

その光合波素子を介して励起光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、

信号光と励起光を合波して出力することを特徴とする光結合器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、光ファイバ増幅装置における合波部分の光結合器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図16は従来のエルビウムドープファイバ（以下、EDFと略記する。）光増幅器の構成を示す。信号入力ファイバ1から波長1.55 $\mu\text{m}$ の信号光が到来し、合波器2を透過してEDF接続用ファイバ3に入る。励起用LDモジュール4からは、波長0.98 $\mu\text{m}$ の高出力光が0.98 $\mu\text{m}$ 用ファイバ5を通り、合波フィルタで反射してEDF接続用ファイバ3に入る。

【0003】 EDF6において、0.98 $\mu\text{m}$ の光パワーにより、エルビウム原子が励起され、1.55 $\mu\text{m}$ の入力信号光によって誘導放出が起こり、1.55 $\mu\text{m}$ の信号光が増幅されて出力される。出力光は信号出力ファイバ7により伝搬される。また、上記のファイバは、コネクタ接続部8や融着接続部9により接続されている。

【0004】 図17は従来の合波部分の説明図であり、図16のAとして示す領域（合波部分）を詳しく説明するためのものである。信号入力ファイバ1とEDF接続用ファイバ3は、コリメータ10とコリメータ11で空間結合され、励起光伝送用の0.98 $\mu\text{m}$ 用ファイバ5とEDF接続用ファイバ3はコリメータ12とコリメータ11で空間接続されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記構成では、光学的な結合効率がよくないので、信号光や励起光が減衰してしまい、その分増幅度が抑えられることになるという問題があった。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明は、所定の波長の信号光および所定の波長の励起光を入力して合波する光合波素子を有し、その合波した信号光および励起光を出力用光導波路により出力する光結合器において、信号光を単一モードで伝搬させる信号光用光導波路の前方に所定の間隔をおいて信号光側レンズを配置して信号光側コリメータとし、信号光および励起光を単一モードで伝搬させる出力用光導波路の前方に所定の間隔をおいて出力側レンズを配置して出力側コリメータとし、光合波素子を介して前記の信号光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、その光合波素子を介して励起光側コリメータと出力側コリメータを所定の距離で結合し、励起光を空間結合することや、本構成のために最適化したレンズを用いること等により、信号光と励起光を合波して出力することを特徴としている。

【0007】

【発明の実施の形態】 以下に本発明の実施の形態について

て図を用いて説明する、

#### 第1の実施の形態

本実施の形態は、励起用LDから合波器までの接続用ファイバを取り除き、励起用LDとEDF接続用の出力側ファイバとを空間結合とし、しかも高い結合効率となるように設計されたレンズを用いることを特徴としている。

【0008】図1は第1の実施の形態を示す構成図である。13は信号光用光導波路であるファイバを示し、1.55 $\mu\text{m}$ の信号光に対して単一モードファイバ(SMF)となっており、この前方に信号光側レンズ14を配置して信号光側コリメータ15とし、合分波(WDM)フィルタ等の光合波素子16を介して、出力側レンズ17とファイバ18により成る出力側コリメータ19に結合させる。その出力側光導波路であるファイバ18は、図示しないEDFに接続するためのものであり、1.55 $\mu\text{m}$ および0.98 $\mu\text{m}$ の光に対して単一モードとなっている。

【0009】レンズ14は、ファイバ13同志の結合用レンズを用いる(既存のものでもよい)。レンズ17はファイバ13とファイバ18が最もよく結合するように設計したものを用いる。20は光源である励起用LDであり、この前方に励起光側レンズ21を配置して励起光側コリメータ22とし、コリメータ19と結合するようにする。

【0010】レンズ21はコリメータ19と最もよく結合するように設計されたものを用いる。図2は信号光側コリメータ部分とビームの振舞いの説明図であり、ファイバ13とレンズ14から成るコリメータ15部分とビームの振舞いを示したものである。ファイバ13は、例えば、コア半径 $a_1 = 3.86\mu\text{m}$ 、波長1.55 $\mu\text{m}$ に対するV値： $V = 1.62$ 、モード半径 $w_1 = 6.15\mu\text{m}$ であり、出射光の広がり角は $\theta_{e1} = 4.59^\circ$  ( $1/e^2$  値半角)である。

【0011】一例として、ここで用いたレンズ14は、波長1.55 $\mu\text{m}$ に対して屈折率 $n = 1.86926$ である。このレンズ14のファイバ13側の面は垂直平面、出射光側の面は曲率半径 $r_{12} = 2200\mu\text{m}$ の球面であり、厚さは1360 $\mu\text{m}$ である。図3は出力側コリメータ部分のガウスビームとの結合の説明図であり、ファイバ18とレンズ17からなるコリメータ19部分と入射する波長1.55 $\mu\text{m}$ のガウスビームの様子を示したものである。ファイバ18は、例えば、コア半径 $a_2 = 2.10\mu\text{m}$ 、波長1.55 $\mu\text{m}$ に対するV値： $V_2 = 1.30$ 、モード半径 $w_2 = 4.90\mu\text{m}$ であり、出射光の広がり角は $\theta_{e2} = 5.75^\circ$  ( $1/e^2$  値半角)である。

【0012】一例として、ここで用いたレンズ17は、波長1.55 $\mu\text{m}$ に対して屈折率 $n = 1.86926$ である。このレンズ17のファイバ18側の面を垂直平面、空間側の面は曲率半径 $r_{21} = 1750\mu\text{m}$ の球面、厚さ $t_2 = 1080\mu\text{m}$ とした。レンズ17の空間側の面から25000 $\mu\text{m}$ の位置に半幅191 $\mu\text{m}$ のウエストをもつガウスビームを入射させると、レンズ17のファイバ18側の面とファイバ18の端面との距離 $d_2 = 1443\mu\text{m}$ で最適結合する。

【0013】図4は出力側コリメータ部分と励起用ビームの振舞いの説明図であり、コリメータ19において、ファイバ18に仮に波長0.98 $\mu\text{m}$ の光を図の右側から入力した場合のビームの振舞いを示している。波長0.98 $\mu\text{m}$ の光に対し、ファイバ18のV値： $V_2 = 2.06$ 、モード半径 $w_2 = 2.60\mu\text{m}$ 、出射角( $1/e^2$  値半角)  $\theta_{e2} = 6.84^\circ$ となる。

【0014】また、レンズ17の屈折率は $n' = 1.88445$ となる。このとき、レンズ17の空間側の面から76000 $\mu\text{m}$ の位置に幅112.5 $\mu\text{m}$  ( $1/e^2$  値半幅)のウエストをもつビームが生じる。40000 $\mu\text{m}$ の位置のビーム幅は150 $\mu\text{m}$  ( $1/e^2$  値半幅)となる。図5は励起光側コリメータと出力側コリメータの結合の説明図であり、レンズ17とレンズ21の間隔が40000 $\mu\text{m}$ となるように、励起用LD20、レンズ21、レンズ17、ファイバ18を直線状に配置した状態を示している。ここで用いたレンズ21は、波長0.98 $\mu\text{m}$ に対して屈折率 $n = 1.88445$ である。LD20の出射光の広がり角( $1/e^2$  値半角)  $\theta_{e3} = 25^\circ$ としてある。レンズ21の厚さは284 $\mu\text{m}$ とした。

【0015】レンズ21の面形状として、以下に#1と#2の2つの例を示す。図6は励起光側レンズ形状および数値データを示す説明図(#1)であり、この場合のレンズ21(#1)は、LD20側の面を球面とし、空間側の面を6乗項まで最適化した曲面である。図7は励起用LDのレンズ形状および数値データを示す説明図(#2)であり、この場合のレンズ21(#2)は、LD20側、空間側ともに2次曲線の範囲で最適化した曲面である。

【0016】図6および図7において、Cは曲率(mm $^{-1}$ )、Kは非球面係数、Aは4乗項、Bは6乗項を示している。LD20の端面とレンズ21のLD20側の距離 $d_3 = 196.5\mu\text{m}$ のとき、結合効率が最大となる。なお、レンズ面の一般式は次の数1に示す通りである。

【0017】

【数1】



$$z = \frac{C_{ij} h^2}{1 + \sqrt{1 - (K_{ij} + 1) C_{ij}^2 h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + \dots$$

$$h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

レンズ21の空間側の面から $-36000\mu\text{m}$ の位置に半幅 $112.5\mu\text{m}$ のウェストがあるガウスビームとの結合は、レンズ面に反射がない場合、90%となる。

【0018】上述のように、本実施の形態によると、ファイバ13とファイバ18が、レンズ14と、特に設計されたレンズ17によって波長 $1.55\mu\text{m}$ で最適結合し、かつ、励起用LD20とファイバ18が、特に設計されたレンズ21とレンズ17によって波長 $0.98\mu\text{m}$ で最適結合するようにしたことにより、 $1.55\mu\text{m}$ の信号光の損失も少なく、かつ $0.98\mu\text{m}$ の励起光の損失も少なく、EDFに入力することのできる光結合器を実現することができる。

【0019】特に、励起用LD20から光合波素子16までの間に接続ファイバを用いずに空間結合したことにより、励起光の損失が少なくなるとともに光結合器を小型化することができる。

#### 第2の実施の形態

本実施の形態は、特に設計されたレンズ系を用いて、信号光と励起光とを高効率結合させることを特徴とする。

【0020】図8は本実施の形態を示す構成図である。図において、23は信号光用光導波路であるファイバであり、 $1.55\mu\text{m}$ の波長の光についてシングルモードファイバ(SMF)となっており、このファイバ23の前方に信号光側レンズ24を配置して信号光側コリメータ25とする。出力用光導波路であるファイバ26は、図示しないEDFに接続するためのものであり、 $1.55\mu\text{m}$ と $0.98\mu\text{m}$ の光についてSMFとなっている。このファイバ26と出力側レンズ27とで出力側コリメータ28を構成する。励起光側ファイバ29は励起光を入力するためのものであり、励起光側レンズ30とで励起光側コリメータ31を構成する。

【0021】32は干渉フィルタ等の光合波素子であり、コリメータ25とコリメータ28を波長 $1.55\mu\text{m}$ で結合し、コリメータ31とコリメータ28とを波長 $0.98\mu\text{m}$ で結合し、ファイバ26に波長 $1.55\mu\text{m}$ と $0.98\mu\text{m}$ の両方の光が伝搬するようにする。ここでは、一例として、コリメータ25とコリメータ28とのレンズ面間距離を $27.5\text{mm}$ 、コリメータ31とコリメータ28とのレンズ面間距離を $27.5\text{mm}$ で最適結合するようにレンズ面形状およびファイバ・レンズ間距離を特に設計して示している。

【0022】図9はファイバの特性の説明図であり、この図9の(a)に使用するファイバ23、26、29のモード半径 $w$ 、出射角 $\theta$ を示した。図9の(b)には、ファイバ特性の定義を示している。図10は信号光側レンズの構造図、図11は出力側レンズの構造図、図

12は励起光側レンズの構造図をそれぞれ示している。

【0023】これらの図10、図11および図12に、レンズの形状および形状パラメータを示している。なお、これらの図中の記号は次の意味で用いられている。  
 $C_{ij}$ : 中心の曲率(負値は図の右に凸を表す。)

$i$ : レンズ番号

$j$ : 面番号(図の左側が1、右側が2)

$K_{ij}$ : 非球面係数

レンズ面の形状の一般式は次の数2に示す通りである

【数2】

$$z = \frac{C_{ij} h^2}{1 + \sqrt{1 - (K_{ij} + 1) C_{ij}^2 h^2}}$$

$$h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

なお、 $x$ 、 $y$ : レンズ面の光軸に対し垂直方向の座標

$z$ : レンズ面の光軸方向の座標

とした。

【0025】次に、光結合器の作製法について説明する。図13は信号光側コリメータ作製の説明図であり、この図に示すように、まず、両側ともにファイバ23とレンズ24から成る同じコリメータ系を対向させ、レンズ間距離 $32\text{mm}$ として波長 $1.55\mu\text{m}$ で最適結合になるようにファイバ23とレンズ24の間隔を両コリメータともに調整する。

【0026】ここで用いるレンズ24の厚さ( $1.36\text{mm}$ )では、計算上、ファイバ23とレンズ24の間隔が $1819\mu\text{m}$ のときに最適結合となる。このようにしてできたコリメータをコリメータ25とする。図14は出力側コリメータ作製の説明図であり、この図のように、両側ともにファイバ26とレンズ27から成る同じコリメータ系を対向させ、レンズ間距離 $23\text{mm}$ とし、波長 $1.55\mu\text{m}$ で最適結合となるようにファイバ26とレンズ27の間隔を両コリメータともに調整する。

【0027】ここで用いるレンズ27の厚さ( $1.08\text{mm}$ )では、計算上、ファイバ26とレンズ27の間隔が $1443\mu\text{m}$ のときに最適結合となる。このようにしてできたコリメータをコリメータ28とする。図15は励起光側コリメータ作製の説明図であり、この図に示すように、上述の如く完成したファイバ26およびレンズ27から成るコリメータ28と、ファイバ29およびレンズ30から成るコリメータを、レンズ間距離 $27.5\text{mm}$ で対向させ、波長 $0.98\mu\text{m}$ で結合が最大になるようにレンズ30とファイバ29との間隔を調整する。

【0028】ここで用いるレンズ30の厚さ( $1.08\text{mm}$ )では、計算上、ファイバ29とレンズ30の間隔が $928\mu\text{m}$ のときに結合が最大になる。このようにし

てできたファイバ29とレンズ30のコリメータをコリメータ31とする。最後に、図13のようにしてできたコリメータ25と、図14のようにしてできたコリメータ28を、図8のように、干渉フィルタ等の光合波素子32を介してレンズ間距離27.5mmで対向させ、波長1.55 $\mu$ mで結合調整して固定する。

【0029】そして、図15のようにしてできたコリメータ31を、コリメータ28に対して、図8のように光合波素子32を介して、レンズ間距離27.5mmで対向させて波長0.98 $\mu$ mで結合調整し、固定して光結合器を構成する。上述のように本実施の形態によると、特に設計されたレンズ24およびレンズ27により、ファイバ23およびファイバ26が与えられた距離で最も良く結合されており、しかも、特に設計されたレンズ30により、ファイバ29とファイバ26が与えられた距離でもっとも良く結合するようにされ、干渉フィルタ等の光合波素子を結合空間に配置することにより、波長1.55 $\mu$ mの信号光と波長0.98 $\mu$ mの励起光のどちらをもファイバ26に低損失で結合させる高性能の光結合器を実現することができる。

【0030】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、信号光と励起光を合波する光結合器の結合効率を向上させたことにより、信号光や励起光が低損失でエルビウムドープ光ファイバに入射することになり、信号光の増幅率を向上させる効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態を示す構成図

【図2】信号光側コリメータ部分とビームの振舞いの説明図

【図3】出力側コリメータ部分のガウスビームとの結合の説明図

【図4】出力側コリメータ部分と励起用ビームの振舞いの説明図

【図5】励起光側コリメータと出力側コリメータの結合の説明図

【図6】励起光側レンズ形状および数値データを示す説明図( # 1 )

【図7】励起光側レンズ形状および数値データを示す説明図( # 2 )

【図8】第2の実施の形態を示す構成図

【図9】ファイバ特性の説明図

【図10】信号光側レンズの構造図

【図11】出力側レンズの構造図

【図12】励起光側レンズの構造図

【図13】信号光側コリメータ作成の説明図

【図14】出力側コリメータ作成の説明図

【図15】励起光側コリメータ作成の説明図

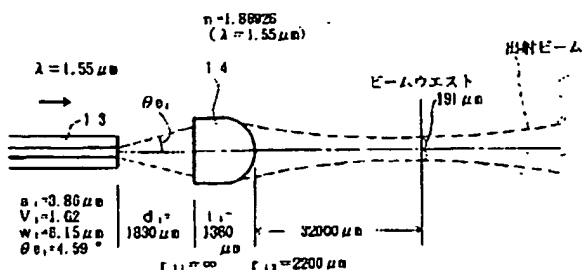
【図16】従来のEDF光増幅器の構成図

【図17】従来の合波部分の説明図

【符号の説明】

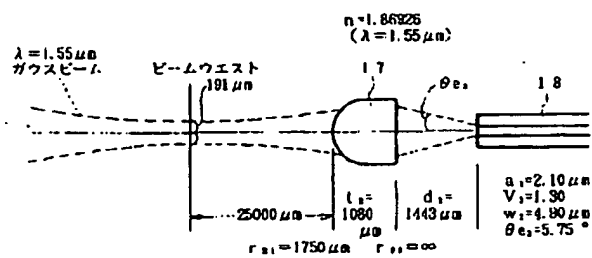
- 13 信号光用光導波路
- 14 信号光側レンズ
- 15 信号光側コリメータ
- 16 光合波素子
- 17 出力側レンズ
- 18 出力用光導波路
- 19 出力側コリメータ
- 20 光源
- 21 励起光側レンズ
- 22 励起光側コリメータ
- 23 信号光用光導波路
- 24 信号光側レンズ
- 25 信号光側コリメータ
- 26 出力用ファイバ
- 27 出力側レンズ
- 28 出力側コリメータ
- 29 励起光用光導波路
- 30 励起光側レンズ
- 31 励起光側コリメータ
- 32 光合波素子

【図2】



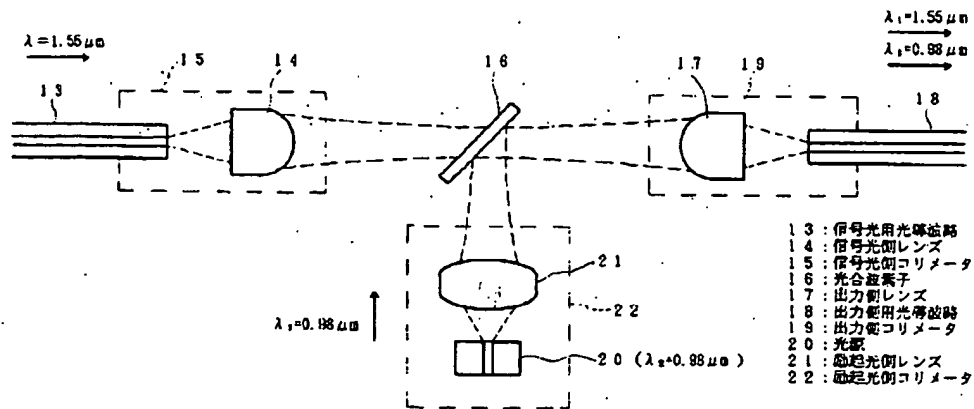
信号光側コリメータ部分とビームの振舞いの説明図

【図3】



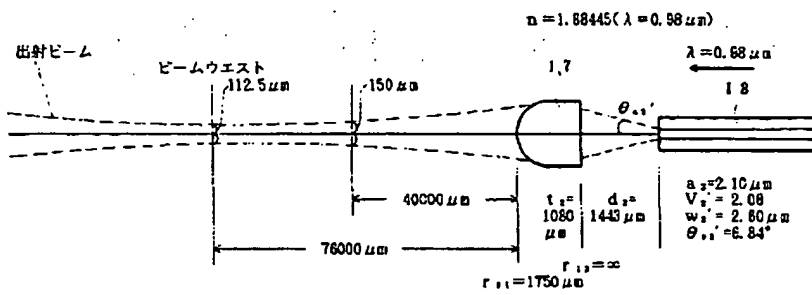
出力側コリメータ部分のガウスビームとの結合の説明図

【図1】



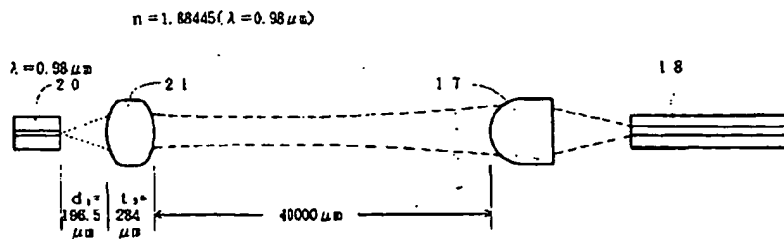
第1の実施の形態を示す構成図

【図4】



出力側コリメータ部分と励起用ビームの配置の説明図

【図5】



励起光側コリメータと出力側コリメータの結合の説明図

【図6】

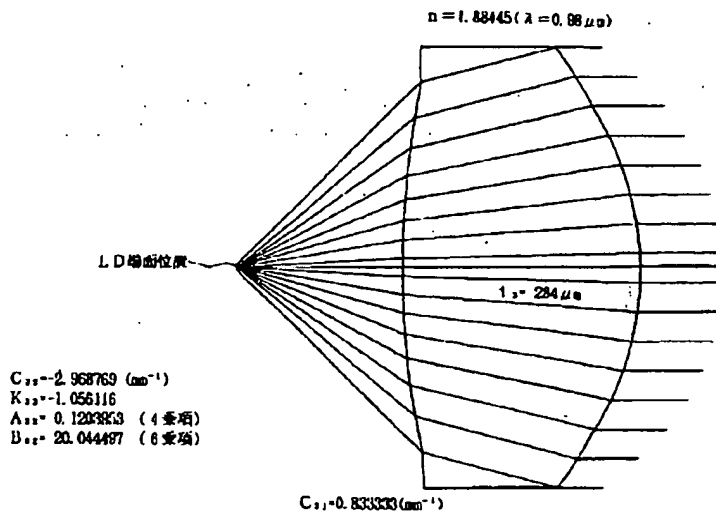


図6 光側レンズ形状および数値データを示す説明図( # 1 )

【図7】

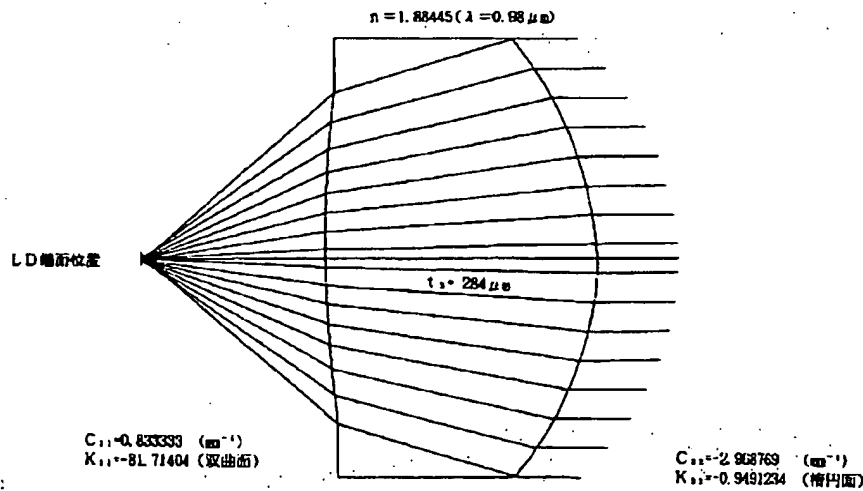
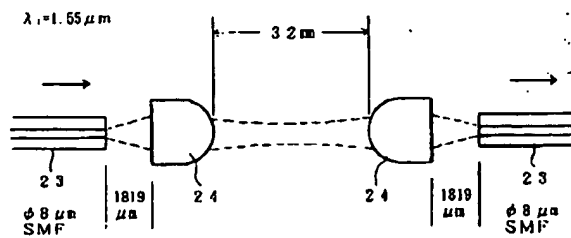


図7 光側レンズ形状および数値データを示す説明図( # 2 )

【図13】



信号光側コリメータ作成の説明図

【図15】

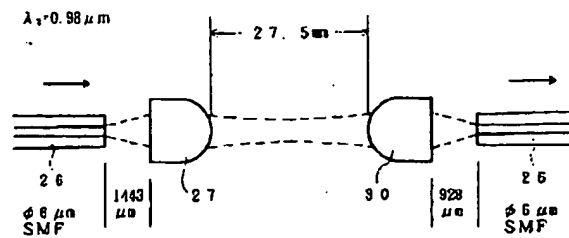
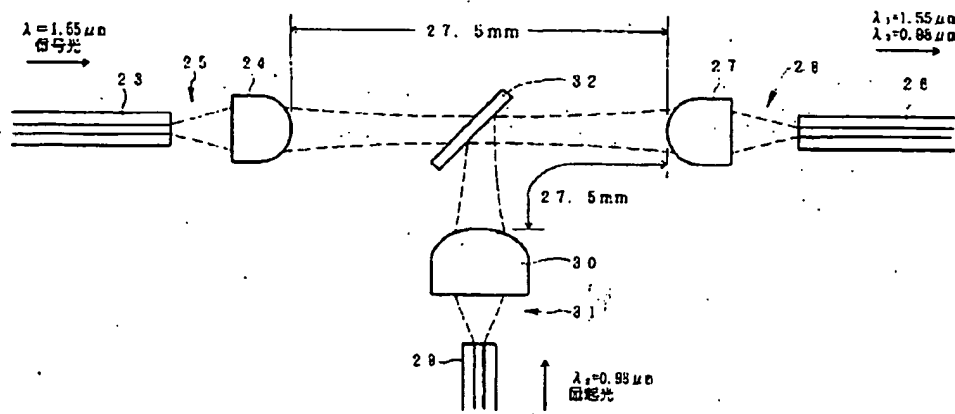


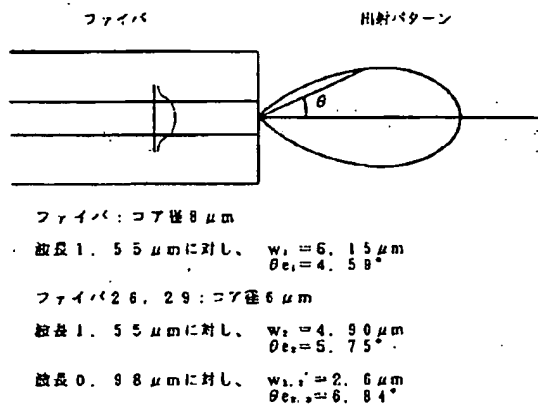
図15 光側コリメータ作成の説明図

【図8】

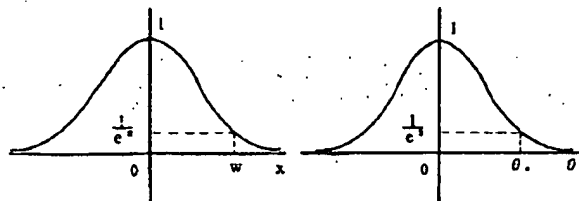


第2の実施の形態を示す構成図

【図9】



(a) ファイバの特性



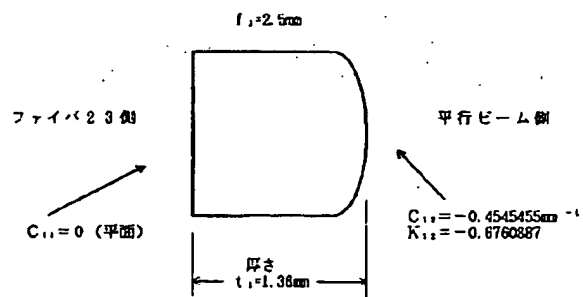
ファイバ内の光パワー分布

ファイバ出力光パワーの角分布

(b) ファイバ特性の定義

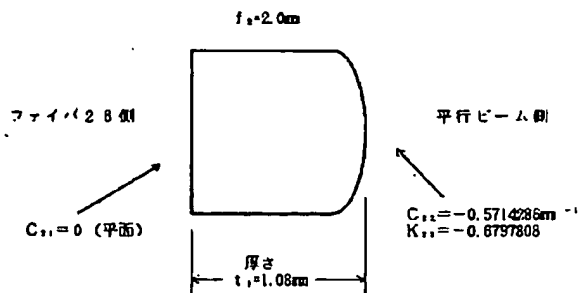
ファイバの特性の説明図

【図10】

屈折率  $n_1 = 1.88926$  ( $\lambda_1 = 1.55 \mu\text{m}$  に対し)

信号光側レンズの構造図

【図11】

屈折率  $n_1 = 1.88926$  ( $\lambda_1 = 1.55 \mu\text{m}$  に対し)屈折率  $n_2 = 1.88445$  ( $\lambda_2 = 0.98 \mu\text{m}$  に対し)

出力側レンズの構造図

【図12】

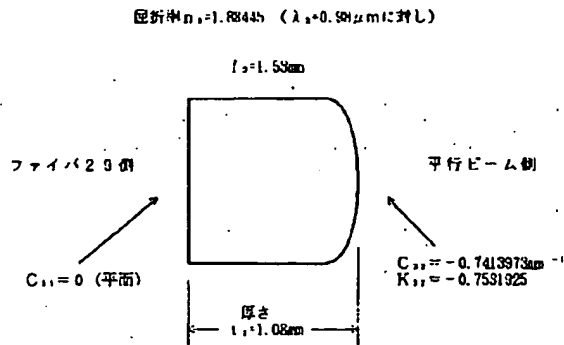
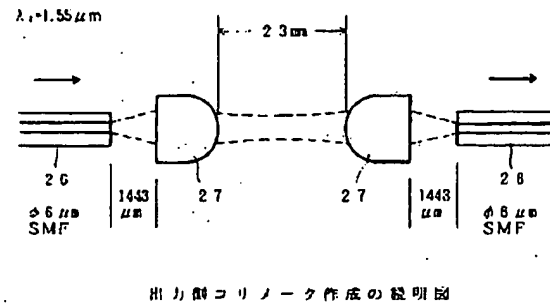
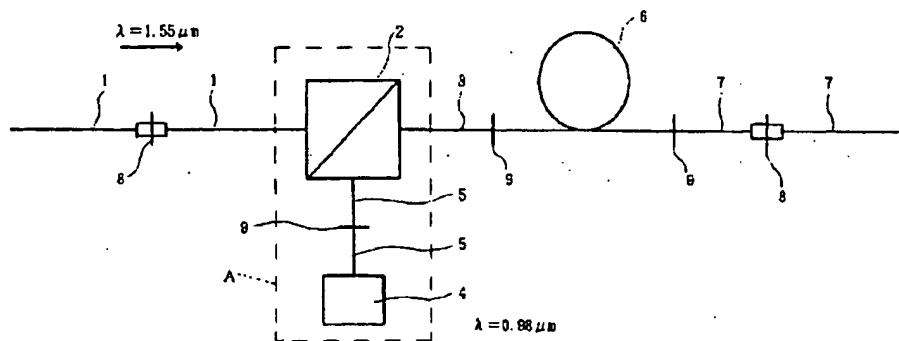


図12 起光レンズの構成図

【図14】

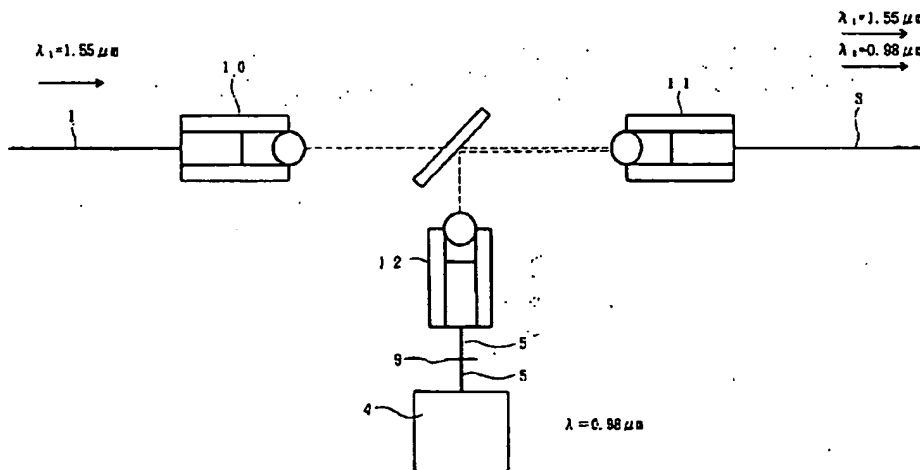


【図16】



従来のEDF光増幅器の構成図

【図17】



従来の合路部分の説明図